Eulerovské modely, výhody a možnosti využití

J. Resler[1,3], J. Karel[2], R. Jaros[2], J. Liczki[3], M. Belda[3], K. Eben[1,3], I.Kasanicky[3], P. Jurus[1,3], O. Vlcek[4], N. Benesova[4] and M. Kazmukova[5]

[1]) Fakulta dopravní ČVUT

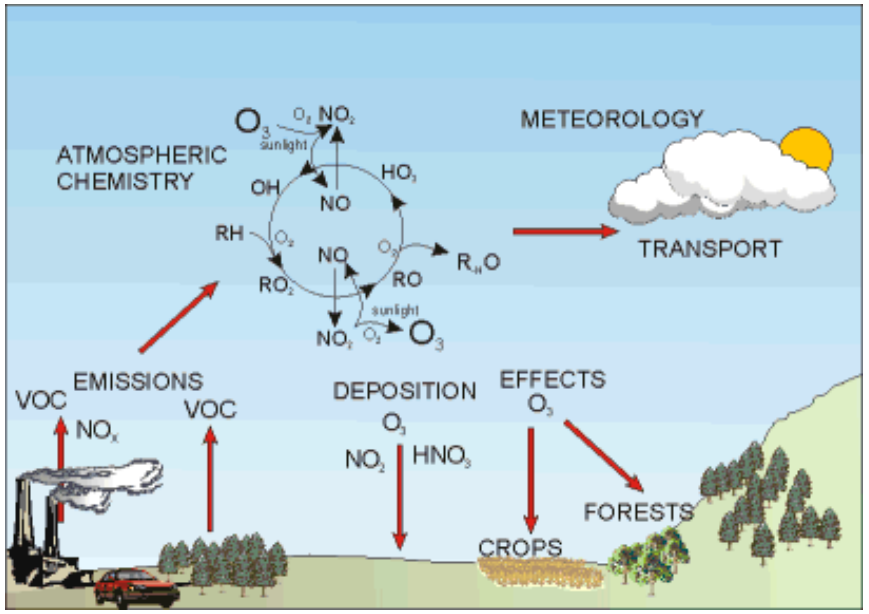
[2]) ATEM - Studio ekologických modelů

[3]) Ústav informatiky AV ČR

4) Český hydrometeorologický ústav

5) Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy

Modelování procesů v atmosféře



Látky vypuštěné do atmosféry

- jsou rozptylovány a transportovány
- chemicky reagují, vytvářejí nové látky
- mohou vytvářet aerosolové částice
- jsou zachycovány na povrchu
- jsou vymývány deštěm

Látky v atmosféře

- primární (emitované)
- sekundární (vznikají v atmosféře)

Gaussovské disperzní modely

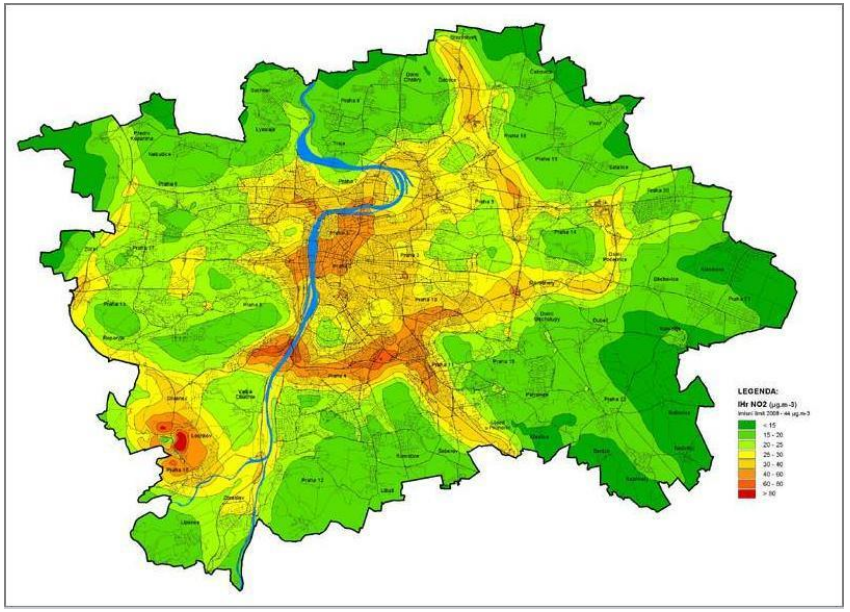
Výhody

- jednoduché, nenáročné
- emise jen pro modelované látky
- není třeba reálná meteorologie

Omezení

- sekundární látky
- meteorologie
- jen statistické veličiny (průměr,...)
- časové průběhy
- vliv dálkového přenosu

Vhodné pro analýzu vlivu zdroje v jeho bezprostřední blízkosti



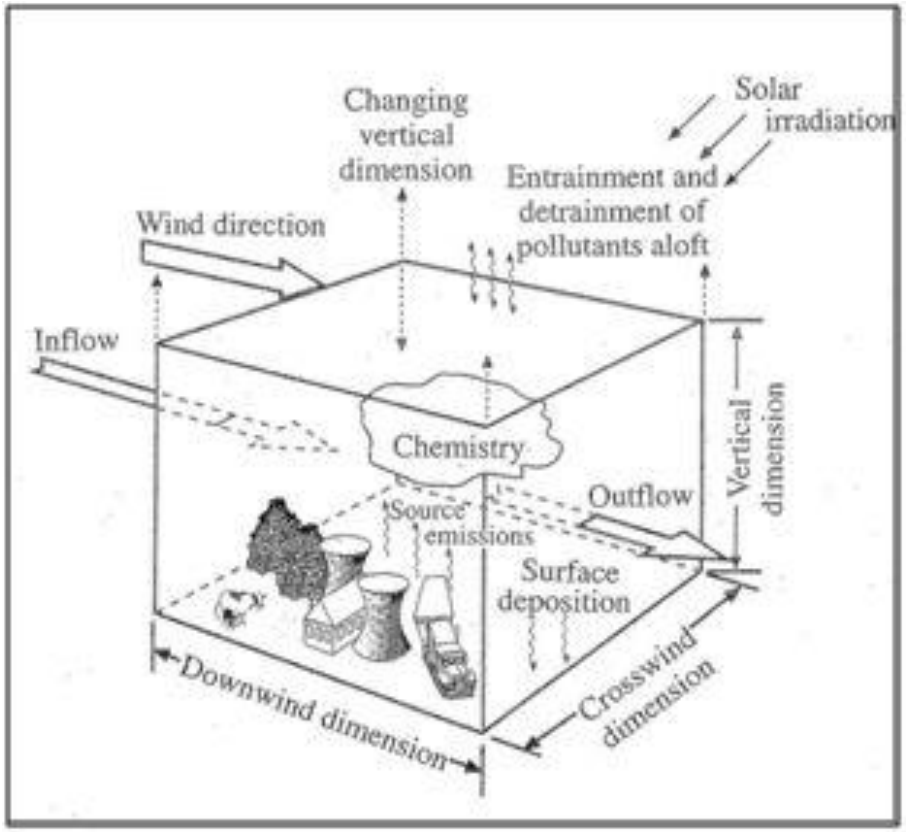
U nás metodika SYMOS

Implementace např. model ATEM

Eulerovské chemické transportní modely

Modeluje

- transport látek
- chemické reakce látek
- procesy tvorby aerosolů
- deposice
- časový vývoj



Základní vlastnosti

- Eulerovská doména
- zahrnutí meteorologie
- emise všech reagujících látek
- časové profily emisí

Komplexnější model i vstupní data

Mnohem náročnější na výpočetní kapacitu → HPC

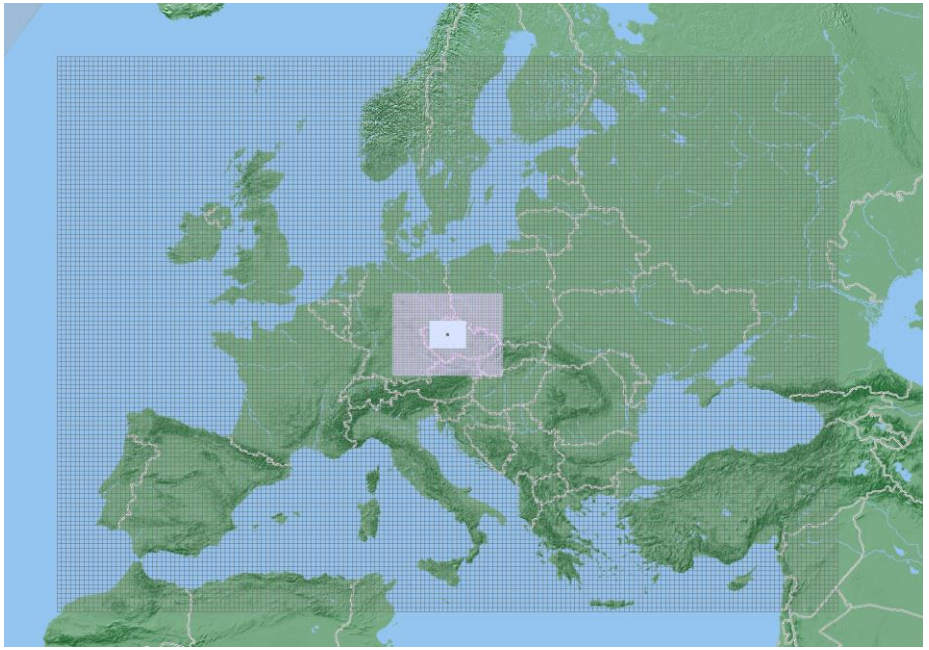
Konfigurace domén

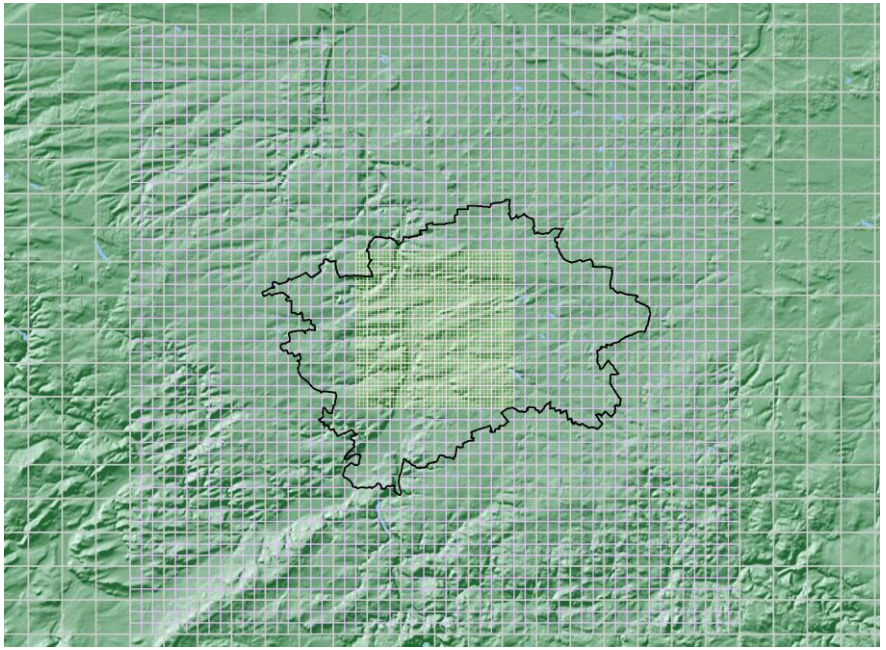
Simulace prováděné v rámci UHI:

(Urban Heat Island, a Central Europe Project)

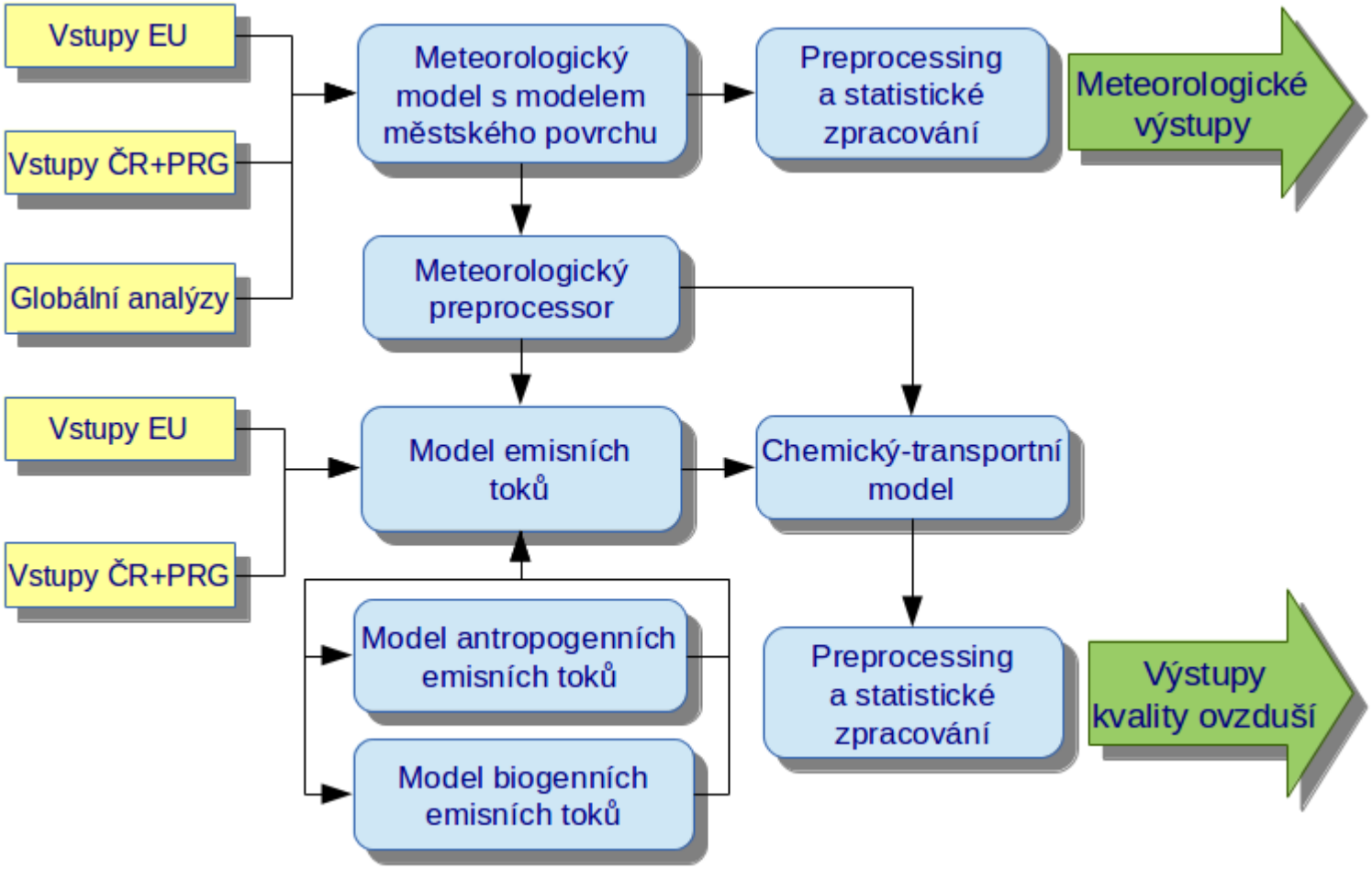
- pilotní projekt
- navrhnout a otestovat modelový systém v podmínkách UHI
- simulace scénářů možného vývoje

Scénáře: 2010, 2020, Nízkoemisní zóna, Krajinné rozhraní





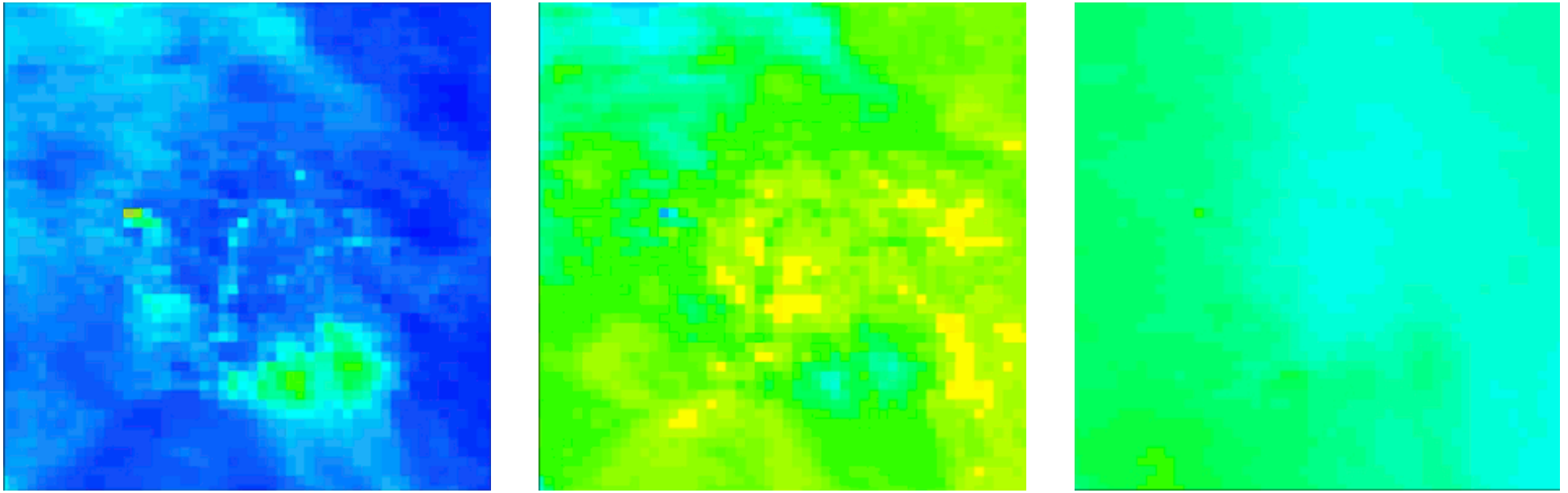
Modelové schéma



Modely:

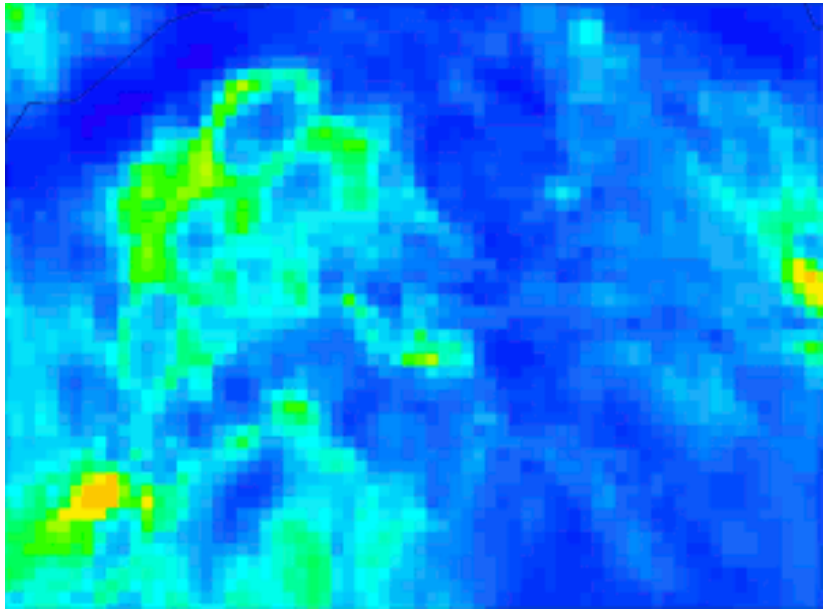
- Meteorologický model WRF 3.5 s modelem městského povrchu BEM
- Emisní model postaven nad daty TNO (MACCII), REZZO, MEFFA, IPR,...
- Chemický transportní model CMAQ 5.0.1

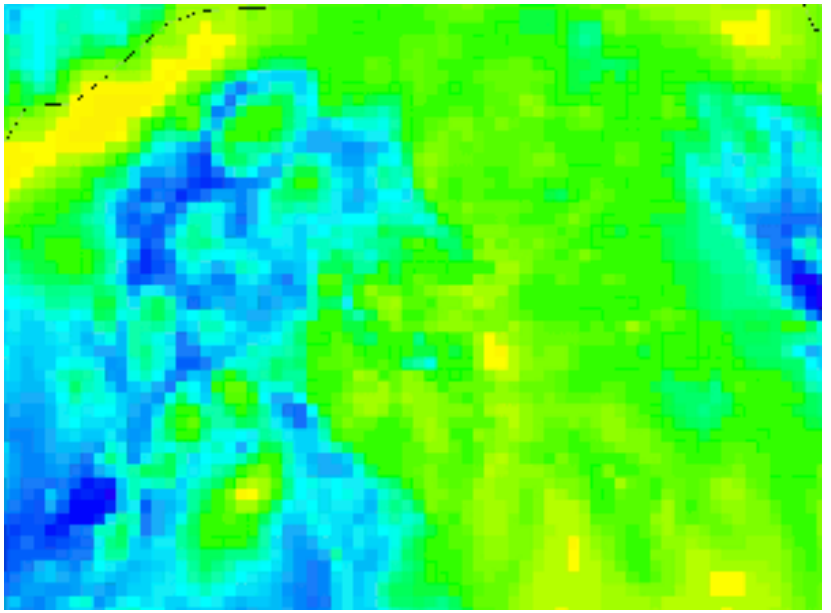
Simulované koncentrace

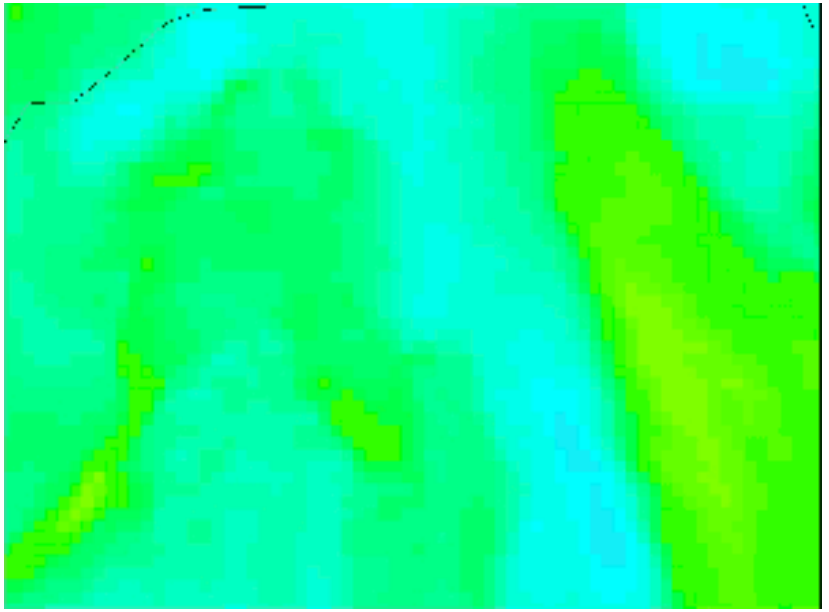


Koncentrace NO_2 (vlevo), ozónu (uprostřed) a ASO4J (vpravo)
na doméně s horizontálním rozlišením 1km v přízemní vrstvě
17.-26. dubna 2010

Simulované koncentrace

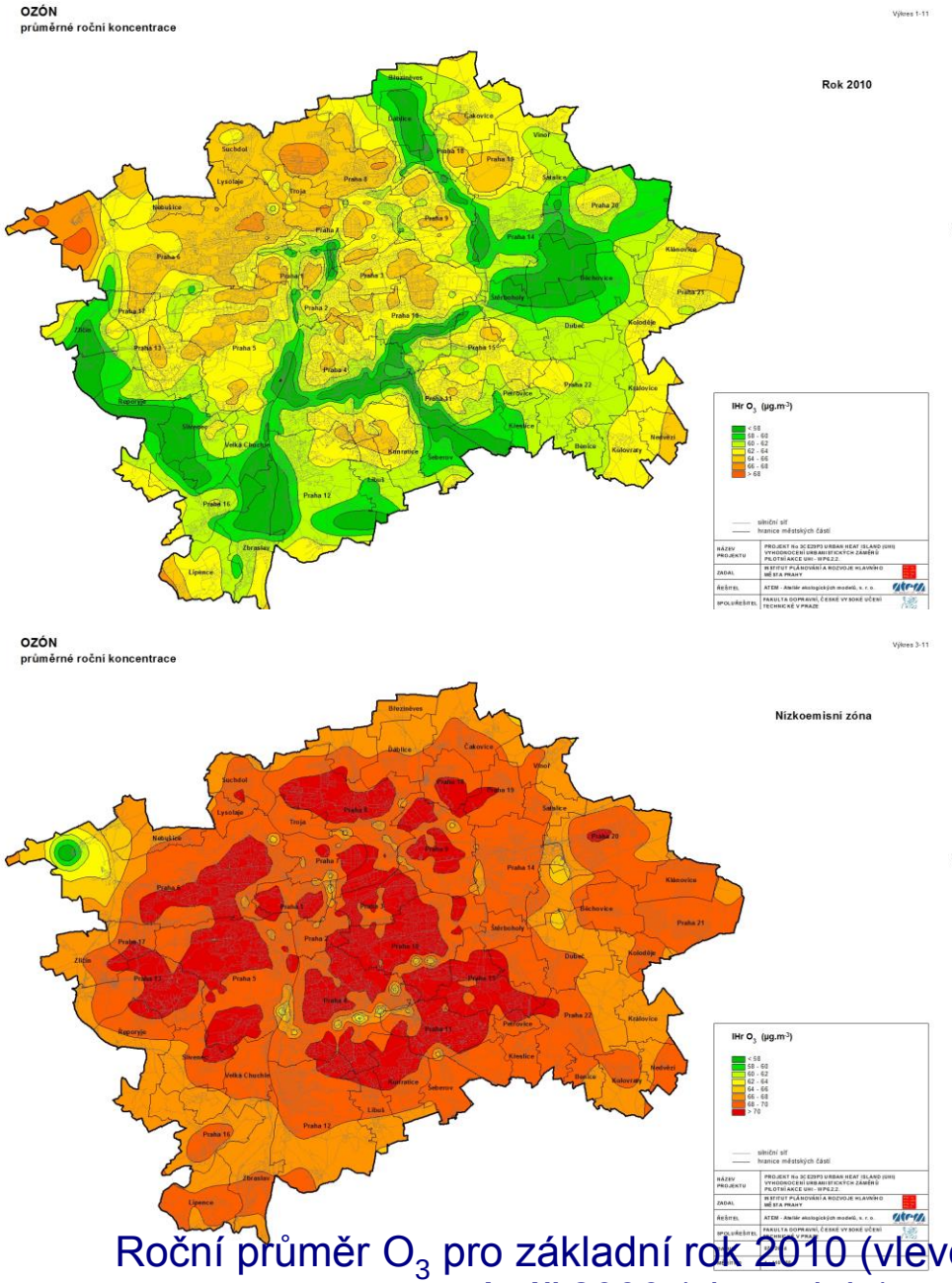






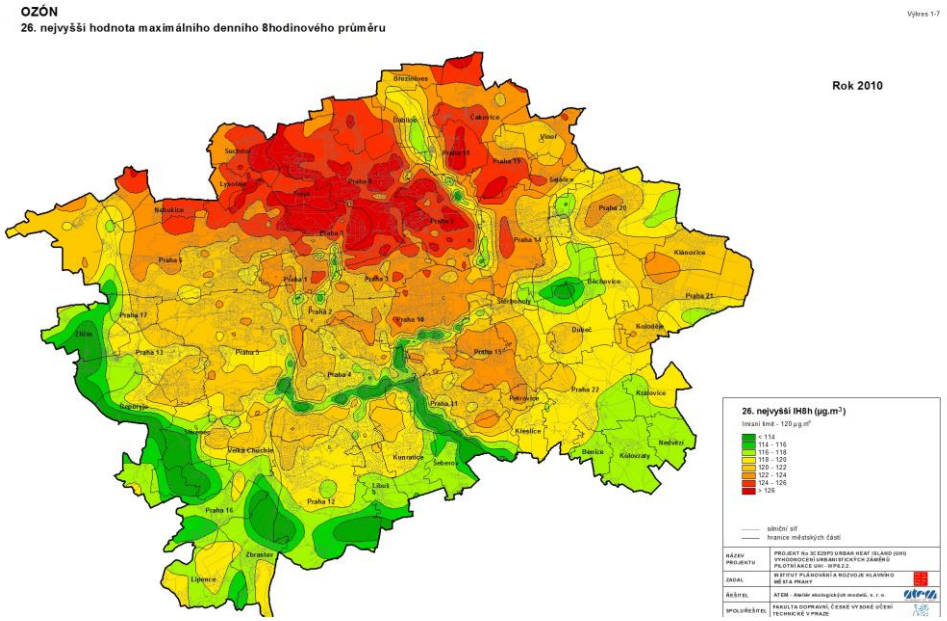
Koncentrace NO_2 (nahoře vlevo), ozónu (nahoře vpravo) a ASO4J (vlevo dole) na doméně s horizontálním rozlišením 3km v přízemní vrstvě
17.-26. dubna 2010

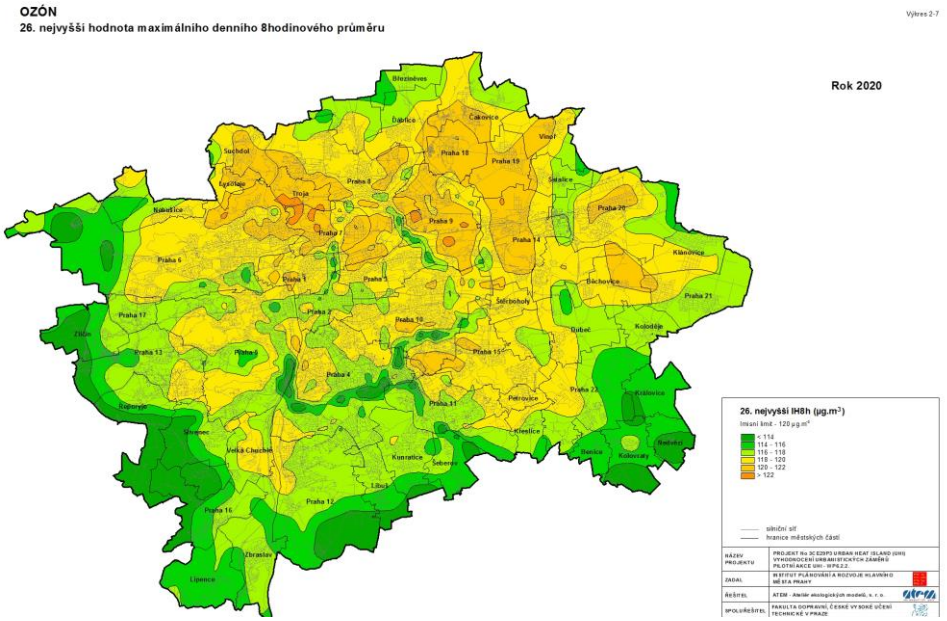
Porovnání O_3 – roční průměr

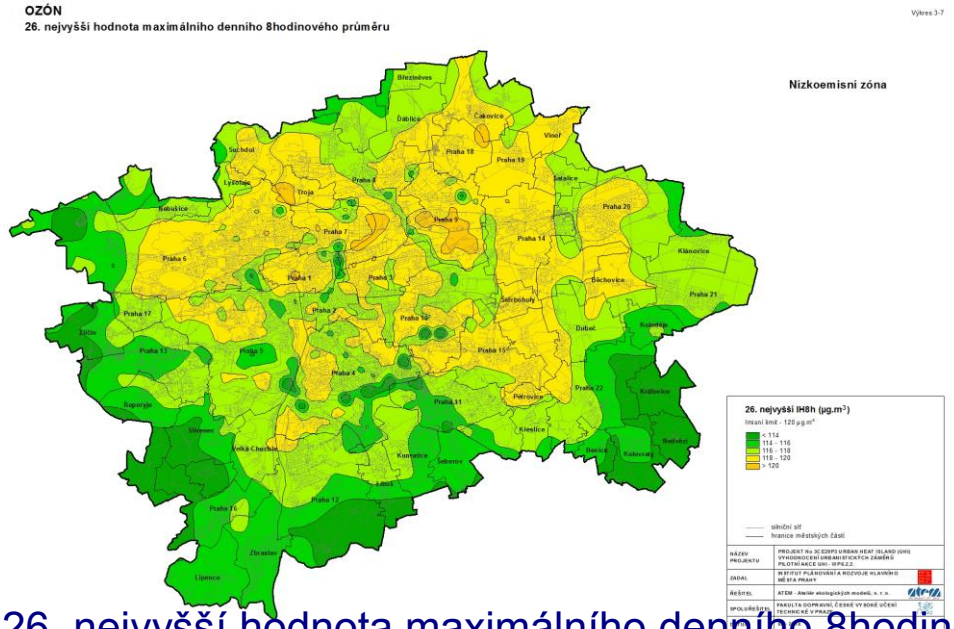


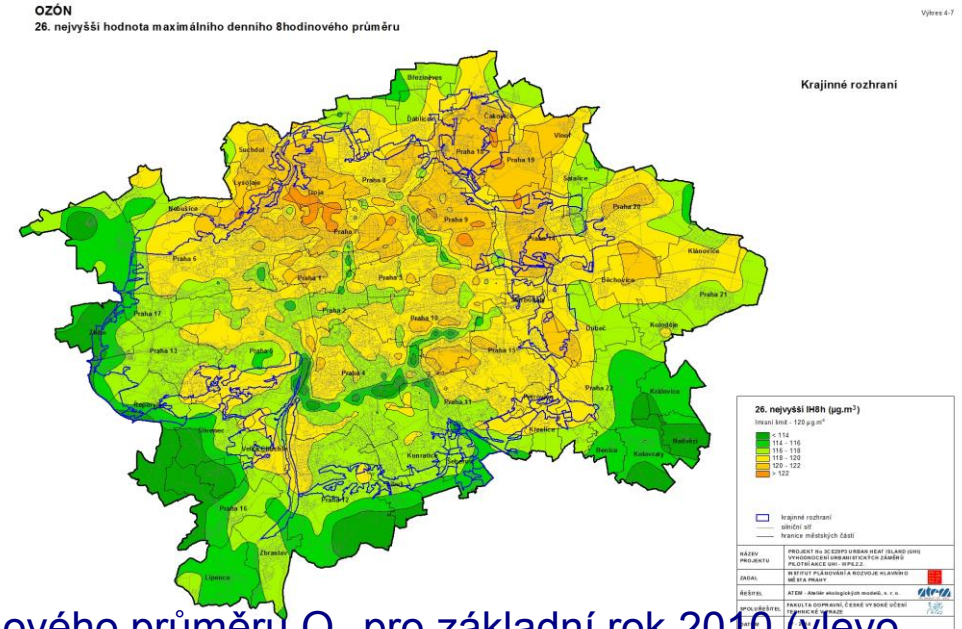
Roční průměr O_3 pro základní rok 2010 (vlevo nahoře), scénář 2020 (vpravo nahoře), scénář 2030 (vlevo dole) a scénář ZP (vpravo dole)

Porovnání O_3 – 26. hodnota



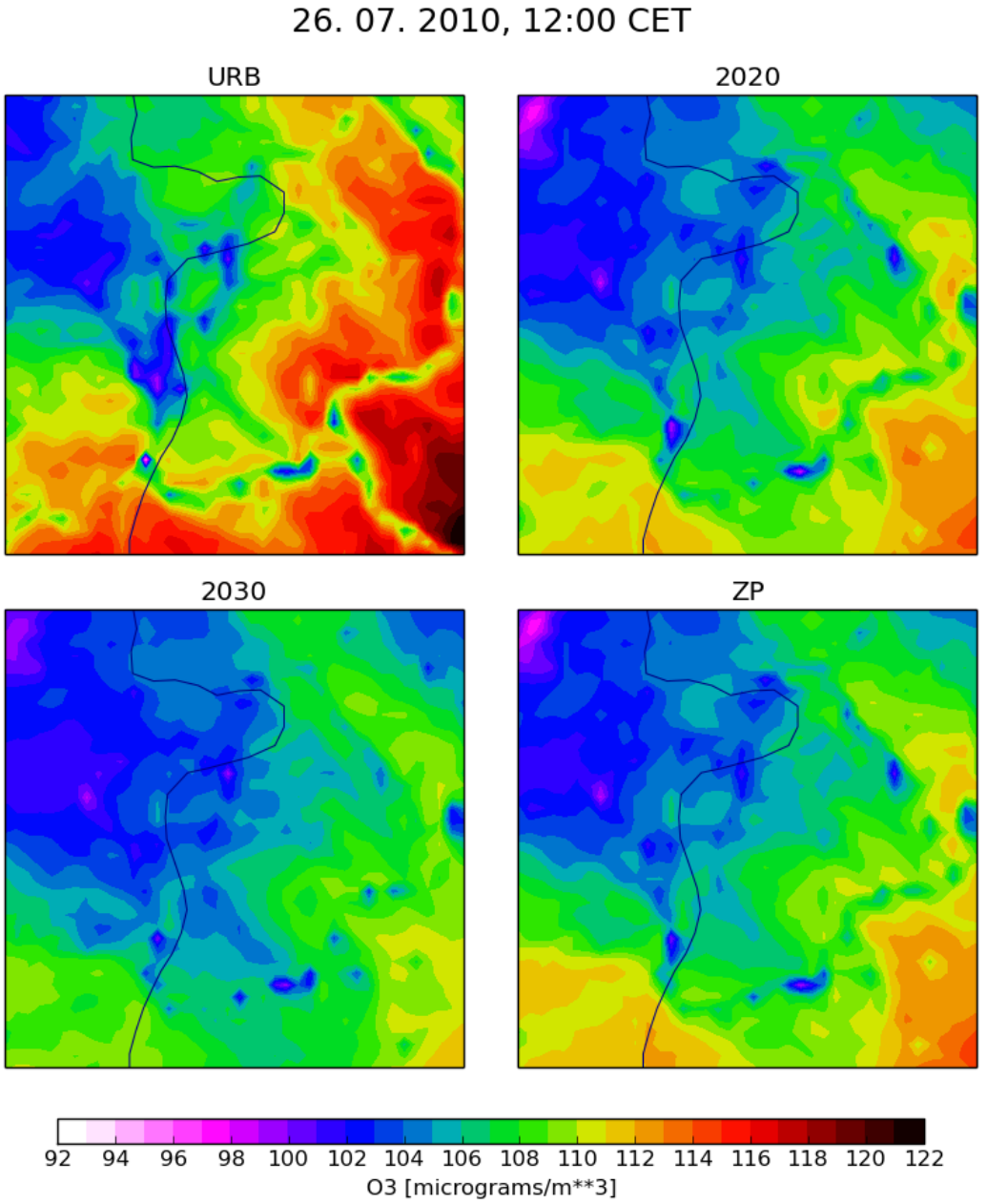




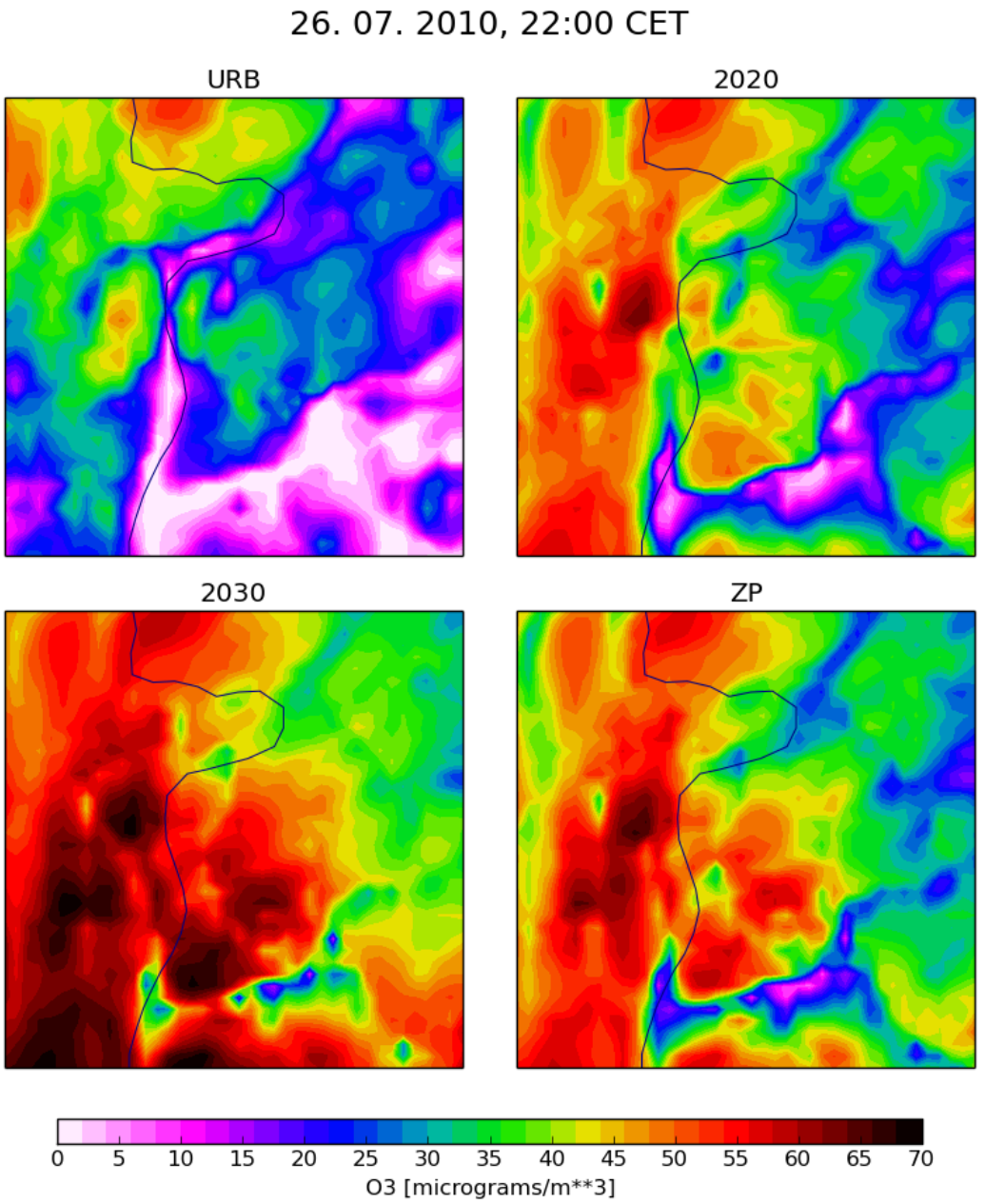


26. nejvyšší hodnota maximálního denního 8hodinového průměru O_3 pro základní rok 2010 (vlevo nahoře), scénář 2020 (vpravo nahoře), scénář 2030 (vlevo dole) a scénář ZP (vpravo dole)

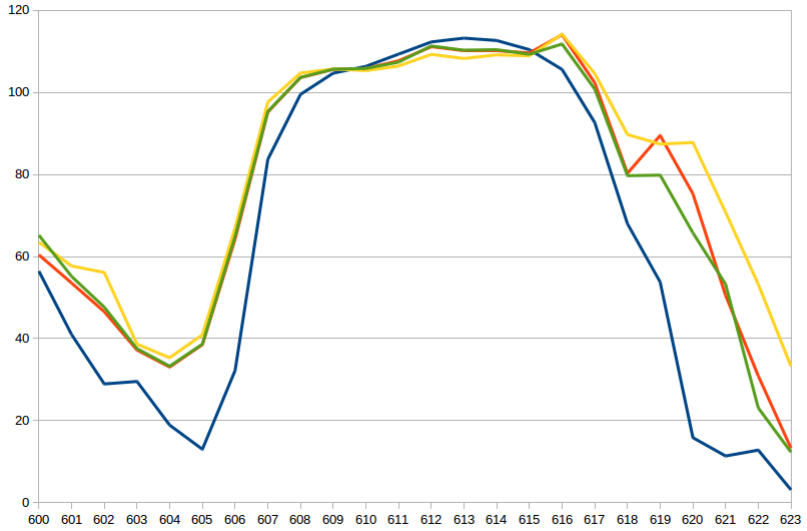
Porovnání scénářů - O_3



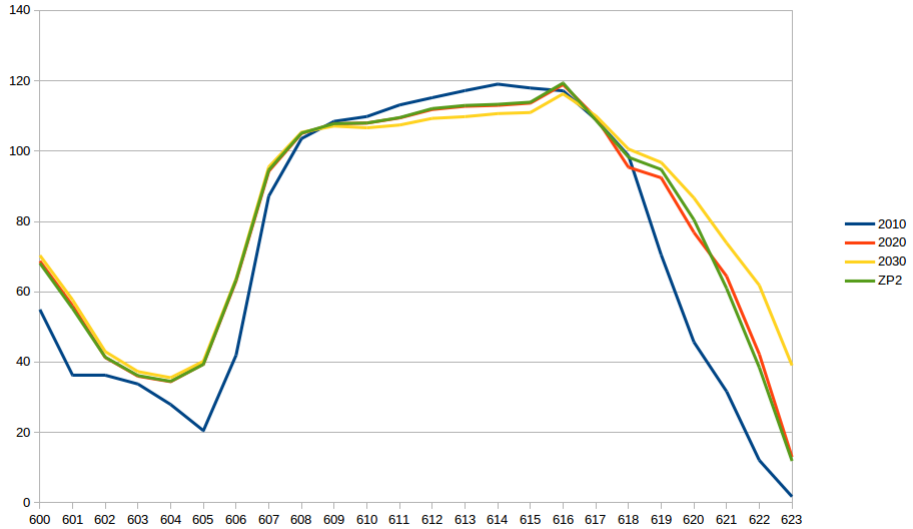
Porovnání scénářů - O_3



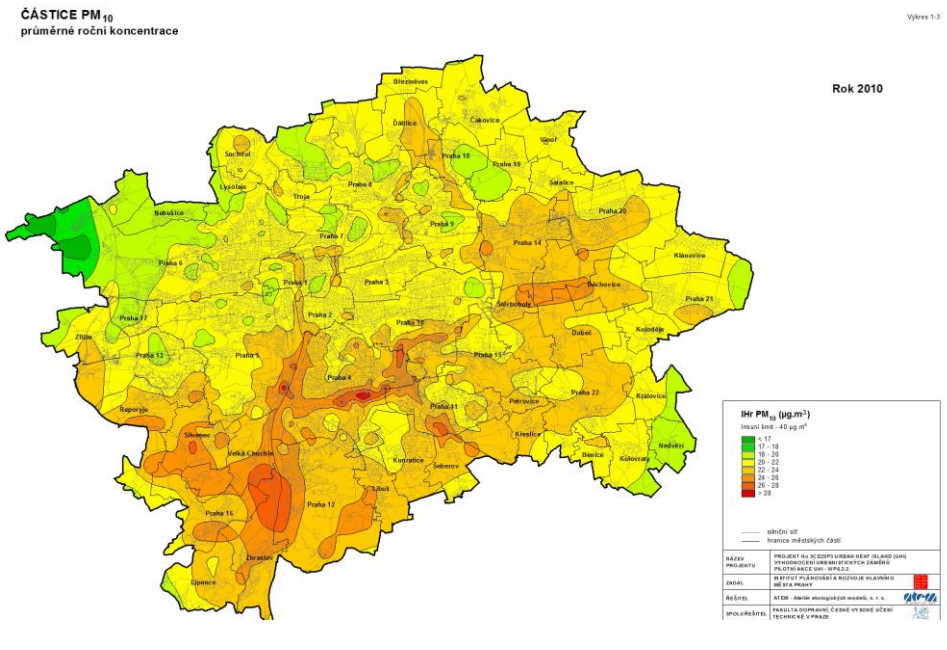
Porovnání scénářů - O_3

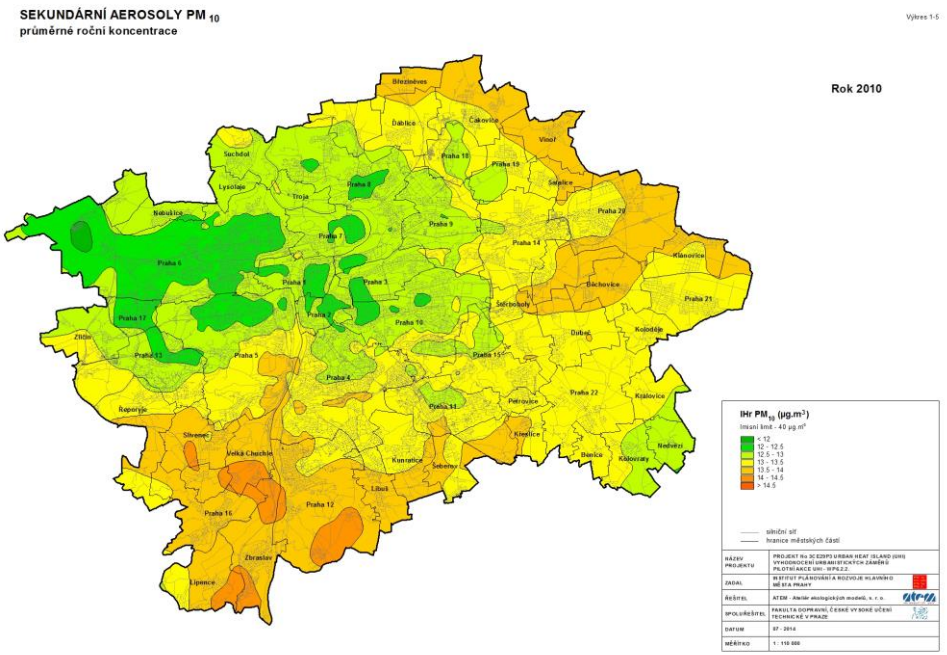


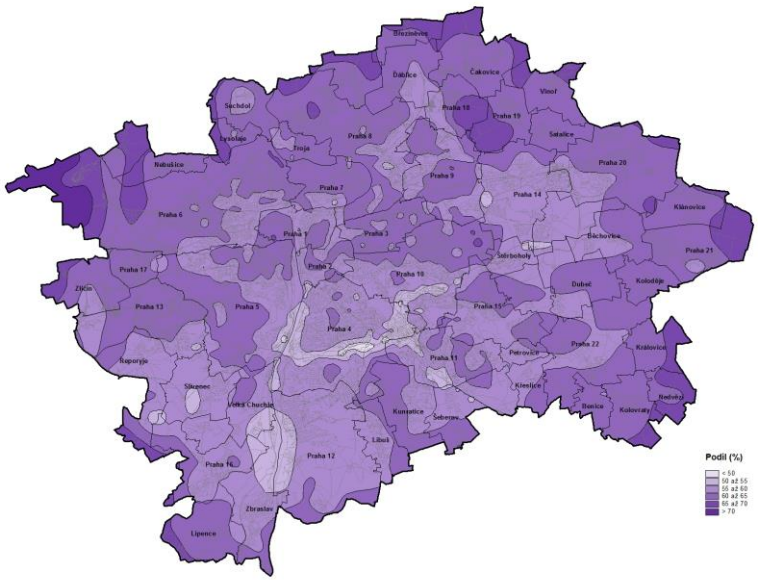
Denní průběh koncentrace přízemního ozónu ve dvou místech v doméně s horizontálním rozlišením 333m dne 26.7. 2010

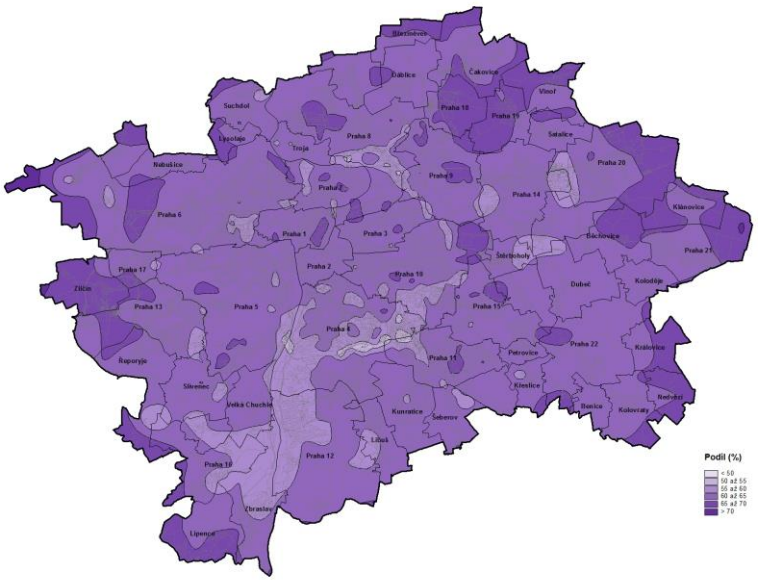


Pevné částice PM10



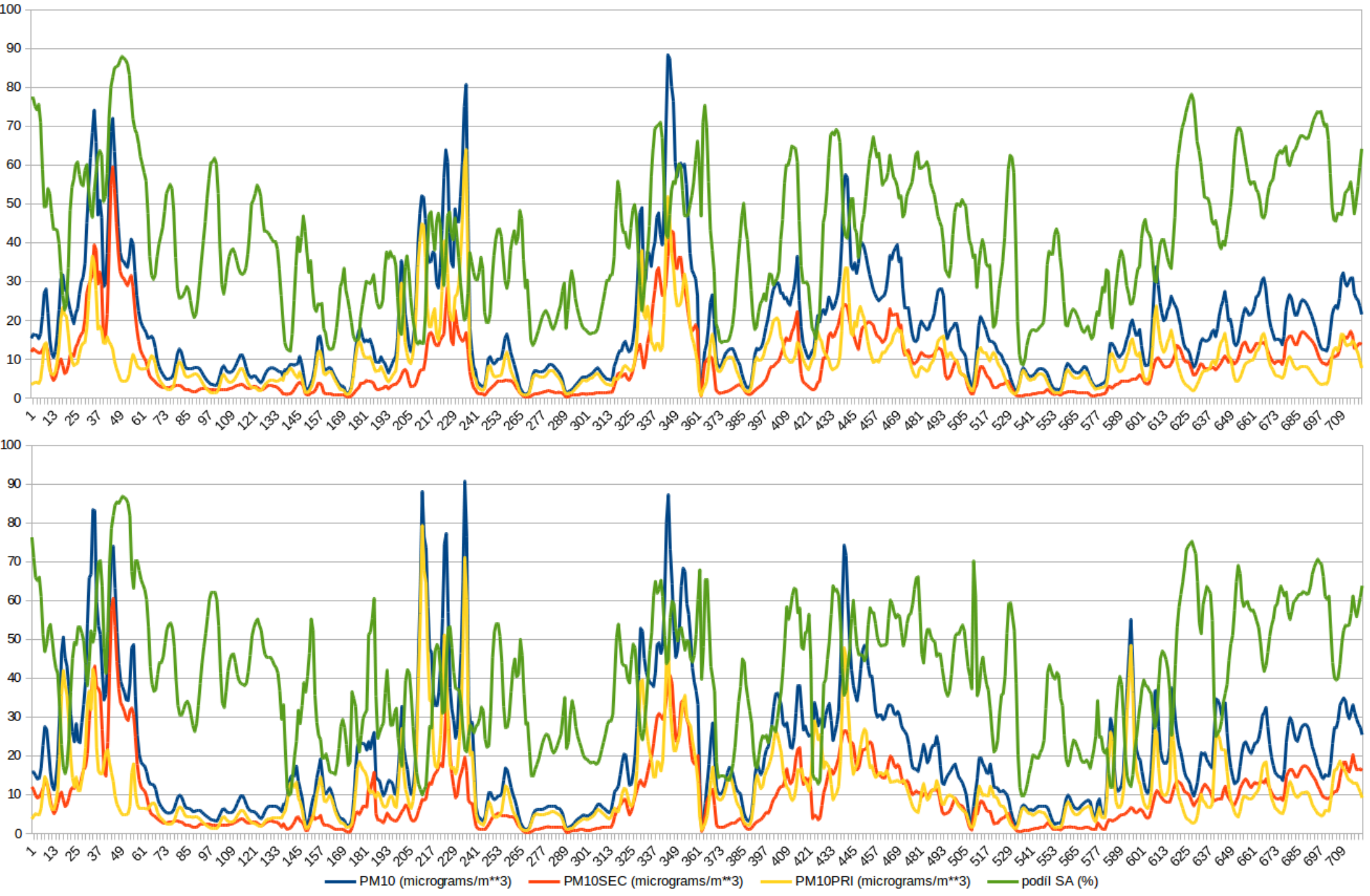




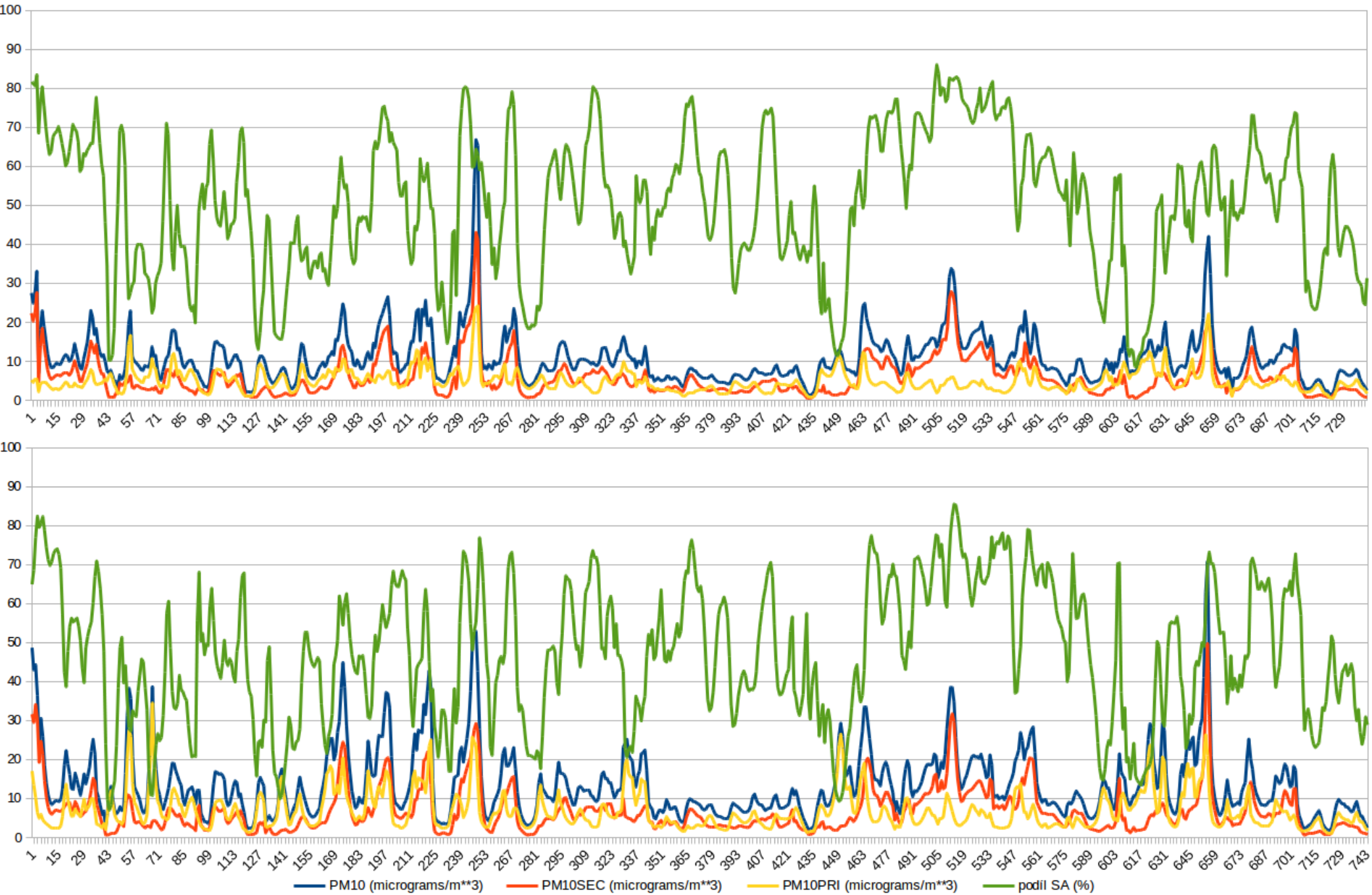


Roční průměr 2010: PM10 (vlevo nahoře), SA PM10 (vpravo nahoře),
podíl SA PM10/PM10 (vlevo dole) a podíl SA PM10/PM10 pro scénář 2030 (vpravo dole)

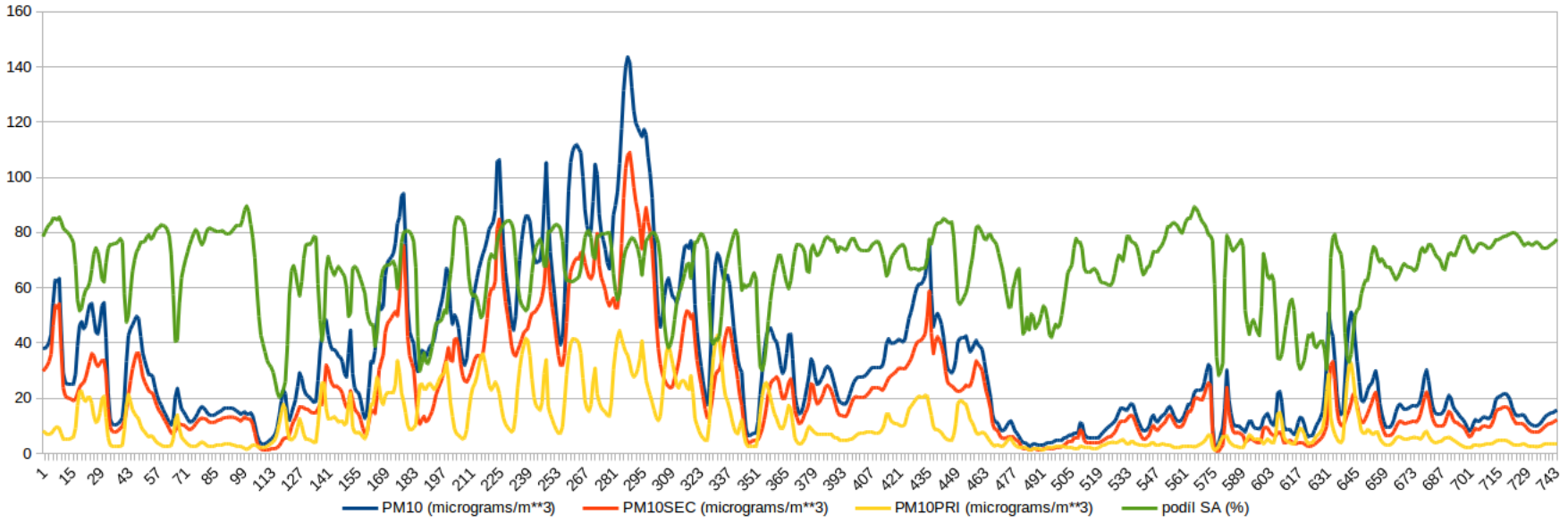
Podíl sekundárních aerosolů - listopad

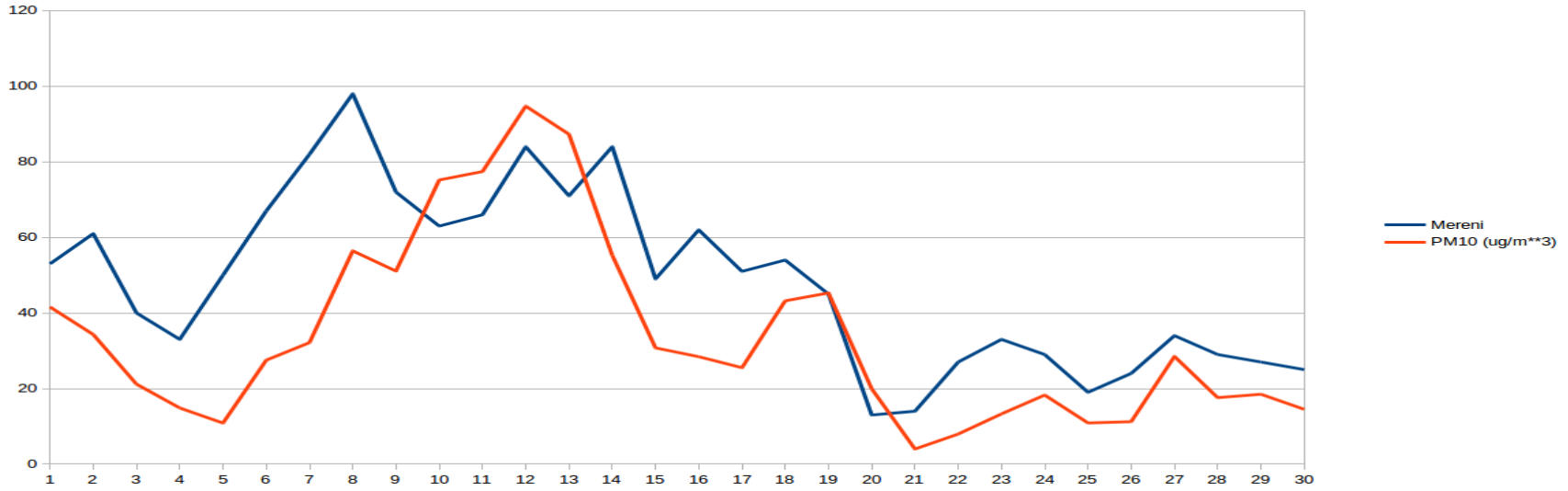


Podíl sekundárních aerosolů - květen



Podíl SA a srovnání s měřením
říjen 2010, Ostrava, doména 9 km





Eulerovské CTM - shrnutí

Eulerovské modelování meteorologie a kvality ovzduší

poskytuje kompletní 3D imisní pole

poskytuje časové průběhy veličin

zahrnuje fyzikální a chemické procesy včetně procesů aerosolů

- *ovlivňuje primární polutanty*
- *hodnocení sekundárních polutantů*

Požadavky

podrobná meteorologická pole (meteorologický model)

podrobné emisní vstupy

- *všechny polutanty vstupující do chemického mechanismu*
- *podrobné členění frakcí PM a jejich prekurzorů*
- *3D prostorové a časové členění emisí (emisní toky)*

výpočetně náročné (výkonný výpočetní cluster, superpočítač)

Určení zodpovědnosti zdrojů

Pro efektivní ovlivňování kvality ovzduší potřebuji

- určit vliv jednotlivých zdrojů a skupin zdrojů na imisní situaci
  - *dopředný přístup*
  - *hodnocení konkrétních zvažovaných zásahů*
- pro dané kritérium určit zdroje, kterými jej mohu ovlivnit a jak
  - *zpětný přístup*
  - *vyhledávání strategií pro řešení konkrétního problému*

Určení zodpovědnosti zdrojů s využitím CTM

- dopředné metody
  - *metoda scénářů, metoda DDM, metody „source apportionment“*
- metody zpětných citlivostí
  - *adjungovaný model*

Scénáře a DDM

Scénáře

- jednoduché, nevyžaduje žádnou úpravu modelu
- vyžaduje tolik běhů modelu, kolik je testovaných variant změněn emisní situace + referenční simulaci

DDM-3D *(„The Decoupled Direct Method in Three Dimensions“)*

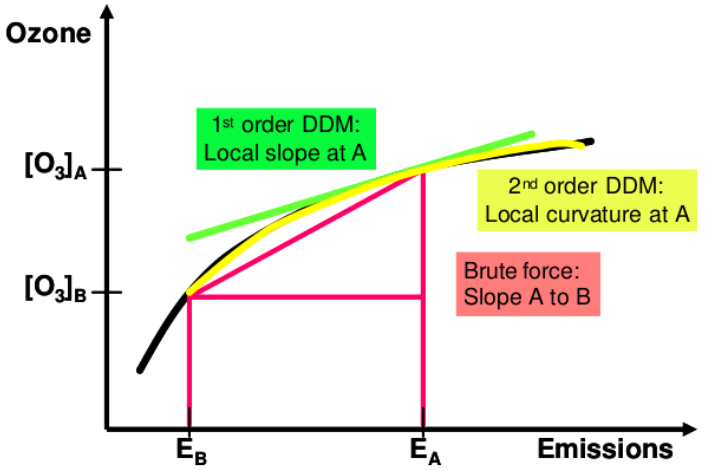
- počítá citlivosti koncentrací látek na dané změny emisí
- vyžaduje speciální implementaci v modelu (CMAQ-DDM)
- pro větší počet scénářů k jedné

referenční situaci je výrazně efektivnější

než metoda scénářů

- pro větší změny problém nelinearit

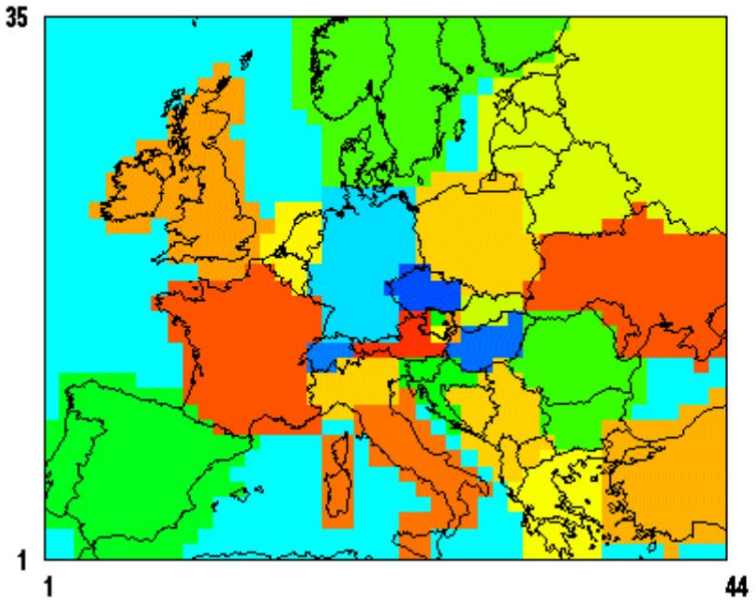
HDDM -3D *(„The High Order DDM-3D“)*

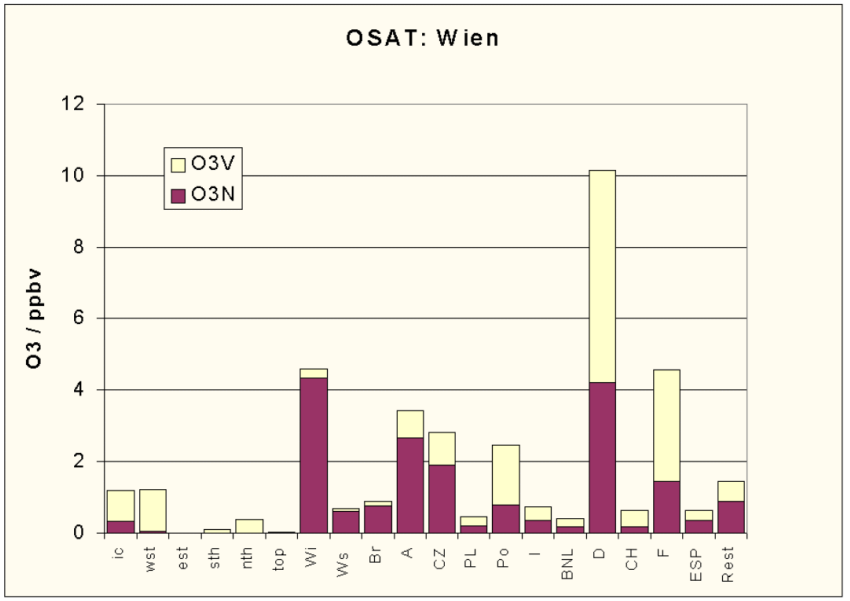


Autor: Daniel S. Cohan

Source Apportionment Method

- někdy též metody barvení látek
- musím určit rozdělení zdrojů do sledovaných skupin
- emitované látky jsou označeny zdrojem původu
- zdroj původu je stopován v průběhu transportu a reakcí
- nutná implementace v modelu (CMAQ ISA, CAMx OSAT, PSAT)
- problémy určování poměru, implementace jen pro speciální případy

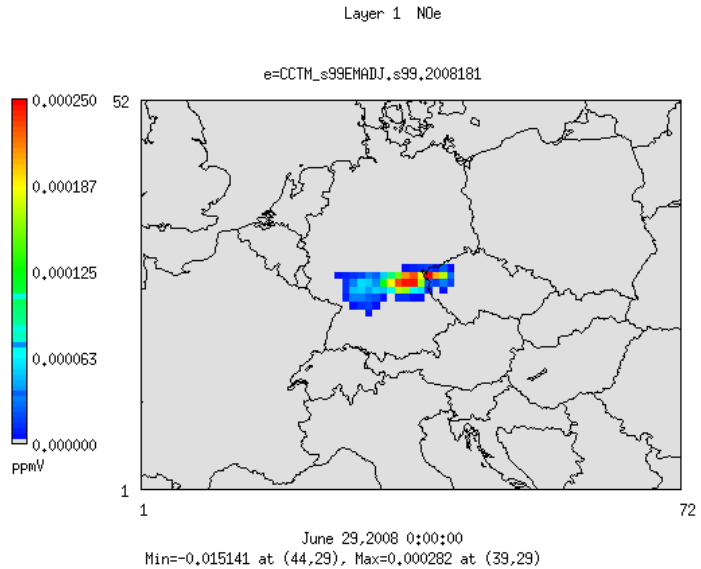


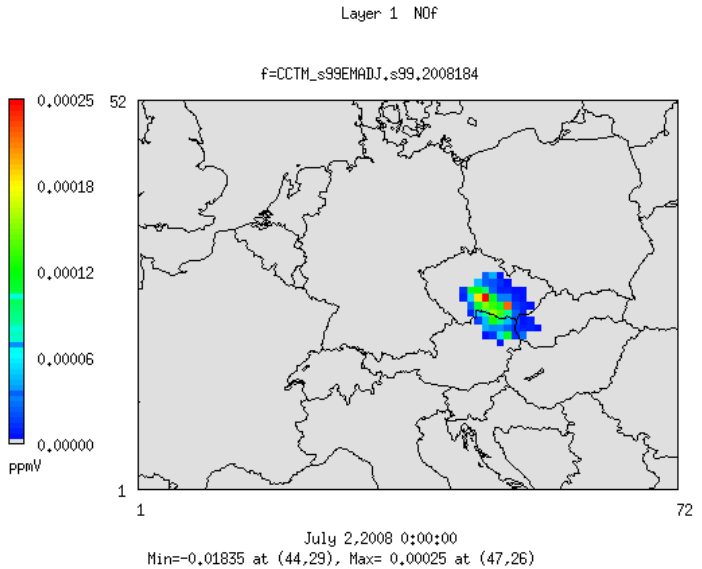


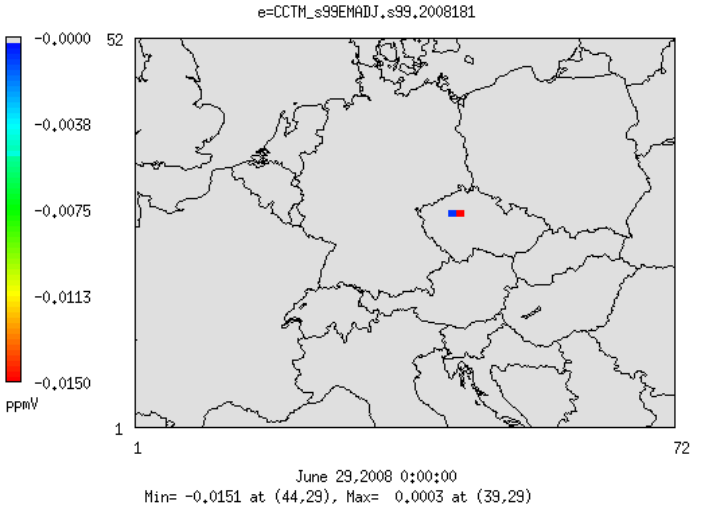
Metoda zpětných citlivostí

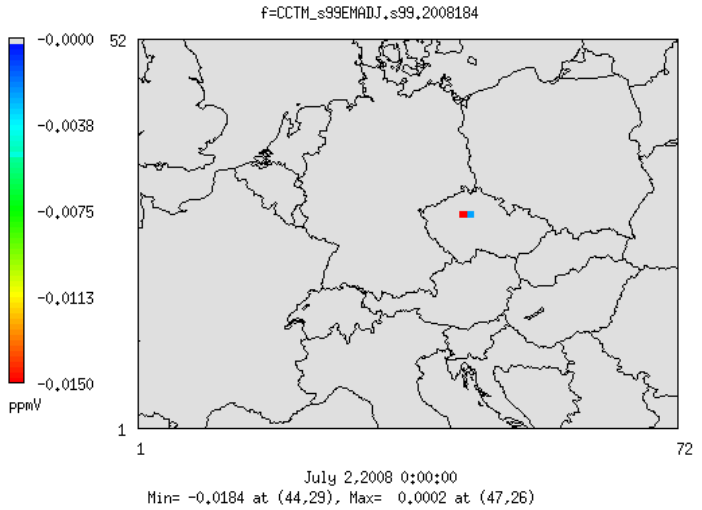
- metoda využívá adjungovaný model CTM
- počítá zpětné citlivosti („oblasti vlivu“) zvoleného receptoru na emisích ve všech místech a časech
- citlivosti možno počítat i k jiným parametrům (koncentrace, okrajové podmínky, meteorologie, reakční rychlosti,...)
- receptorem může být jakákoliv funkce závisející na koncentracích látek
- nutnost implementace adjungovaného modelu CTM – komplexní
- implementace:
  - *globální – GeosChem*
  - *regionální – CMAQ (G, A), STEM (G), EURAD (G, A vývoj)*

Zpětné citlivosti k bodovému receptoru





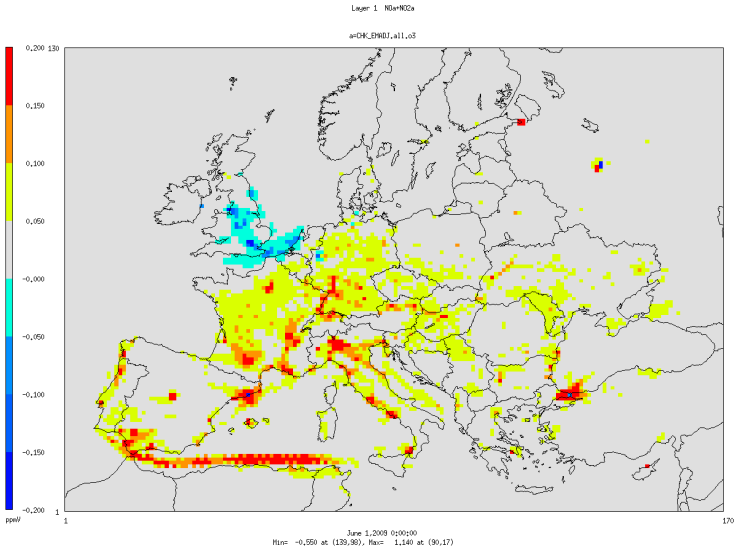


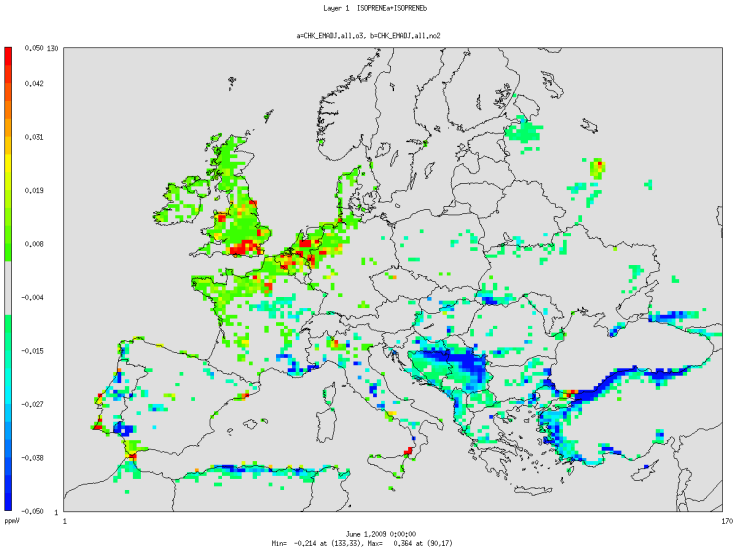


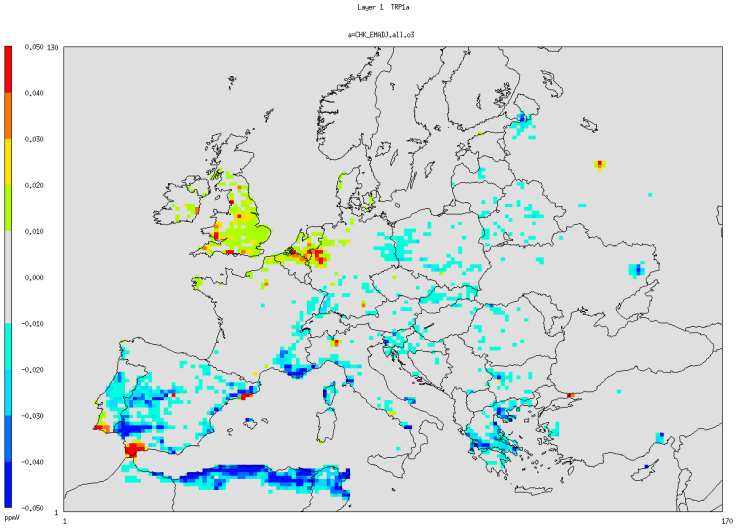
Oblasti vlivu pro emisní koeficient NO kumulované za hodiny 00 až 18 vůči jednotkovému receptoru O3 v Praze v 18:00 hodin v přízemní vrstvě. Vlevo 29.6.2008 před ozónovou epizodou, vpravo 2.7.2008 v době vrcholící epizody. Nahoře oblasti kladného vlivu, dole oblasti záporného vlivu.

Komplexní receptor

Oblasti vlivu vůči změně mortality způsobené krátkodobými zvýšením O3 pro emise NO_X (vlevo), isoprenů (vpravo) a terpenů (dole).







$$\Delta M = M_0 \cdot P \cdot \left(1 - e^{-\beta \Delta C}\right)$$

M_0 - základní úmrtnost
P - hustota populace
β - koeficient získaný pomocí epidemiologických studií
ΔC - změna koncentrace

Pappin, A., Hakami, A., Resler, J., Liczki, J., Vlček, O.: Attribution of Ozone Pollution Control Benefits to Individual Sources. Air Pollution Modelling and its Application XXII. Dordrecht : Springer, 2014

Závěry

Eulerovské CTM

- rozšiřují a doplňují stávající modelovací techniky
- náročnější na vstupy i výpočetní výkon
- vhodné pro
  - *komplexní problémy*
  - *rozsáhlejší oblasti*
  - *chemické a fyzikální děje v atmosféře*

Hodnocení zodpovědnosti zdrojů v CTM

- dopředné metody
  - *vyhodnocování scénářů vývoje*
- zpětné metody
  - *vyhledávání vhodných strategií*

Spolupracující organizace

Na výsledcích se podíleli pracovníci

Fakulta dopravní ČVUT

Ústav informatiky AV ČR

ATEM

ČHMÚ

IPR Praha

Výpočty byly prováděny

Výpočetní cluster Ústavu dopravní telematiky FD ČVUT

Výpočetní cluster Ústavu informatiky AV ČR

Superpočítač Anselm, IT4I, VÚB-TÚ Ostrava

Děkuji za pozornost!